

# 剛境界サスペンション膜構造の 膜パネル製作及び施工について

伊藤 幸一<sup>1</sup> 菊池 哲雄<sup>2</sup>  
田中 耕太郎<sup>3</sup>

## 梗 概

サスペンション膜構造は、施工時に膜面に適正な張力を導入し安定させ、長期間この状態を維持する事が求められる。その為には、膜材の特性を把握した上で膜パネル製作及び施工を行う事が重要である。本報告では、豊島区立教育文化施設の体育館と室内プールの屋根にテフロンコーティングガラス繊維布を、採用した剛境界サスペンション膜構造を対象として、膜パネルの製作及び施工するにあたって、二軸引張試験結果より設定した方法について報告する。

これらの結果としてリンクリングの発生がなく目標としている初期張力値を、導入することができた。

### 1. はじめに

サスペンション膜構造は空気膜構造とは異なり、膜曲面に導入された初期張力によって外力に抵抗する構造形式である。よってサスペンション膜構造に導入される膜張力は構造的に重要な要素を担っている。一方、膜材料は張力導入時における初期伸びに伴うリラクセーション、更には、外力によるクリープや取り付け部の緩みによるリラクセーションを生じ、膜張力は、減少する傾向にある。これらの対策として再張力導入機構を設ける必要がある。

サスペンション膜構造の膜パネルの製作及び施工を行う場合には、これらの点に留意し長期間安定するように、構造形式や形態によって種々ある張力導入方法の中からその構造に適した方法で行う事が重要である。

本報告では、豊島区立教育文化施設の体育館と室内プールの屋根として採用されたテフロンコーティングガラス繊維布の膜パネル製作及び施工についての、一方法を報告するものである。

### 2. プロジェクト概要

本膜構造（写真-1）の膜屋根の平面形は、四辺形で体育館（30m×22m）と、室内プール（30m×15m）共に、中央部に架かる高さ6.5Mの両端ピン支持の鋼管アーチと周辺のSRC造の床梁とで膜パネルを支持する剛境界サスペンション膜構造である。



写真-1：豊島区立教育文化施設 全景

1) 小川テント株式会社 建築設計部 部長 2) 同 部 員 3) 同 部 員

膜屋根は、鋼管アーチを境に2枚の膜パネルから構成されている。ちなみに、短辺方向を強軸の縦糸方向としている。

また、風荷重時の負圧に対処するため膜面の測地線上面にそって長辺方向に押えケーブルが取り付けられている。

### 3. 伸長率の設定について

膜材の設計初期張力値は、特に体育館のスパンが大きいためリラクセーション等の発生が起りやすい点を考慮し、長期間の初期張力値を維持することを目標とし、施工時の初期張力を4 kg/cmの等張力状態と設定した。

伸長率の設定にあたっては、二軸引張試験の張力比、縦糸方向：横糸方向=1：1の結果と段階的な荷重による二軸引張試験の結果より求めた。

#### 3-1. 連続的荷重の二軸引張試験からの伸長率

膜材料の等張力状態での伸び性状から伸長率を求めると、図-1の実線に示す二軸引張試験結果より、4 kg/cmでの歪は、縦糸方向0.16%、横糸方向1.86%が得られる。しかし、安定した初期張力4 kg/cmを維持するには、初期伸びによるリラクセーションを考慮し6 kg/cmの導入張力が必要となるので、ここでの歪を伸長率とした<sup>1)</sup>。

よって二軸引張試験結果からの伸長率は、縦糸方向0.10%、横糸方向2.50%が求まる。

#### 3-2. 段階的荷重の二軸引張試験からの伸長率

膜パネルの張力導入方法について考えると縦糸、横糸方向を同時に伸長することが難しいため段階的な載

荷での伸長率を求める必要がある。図-1の破線に示す試験結果は、施工性を考慮して横糸、縦糸方向の順で1 kg/cmごとに繰り返し荷重したときの伸び性状である。

ここでの伸長率は、6 kg/cmでの歪とし、縦糸方向0.37%、横糸方向3.17%が求まる。

### 3-3. 伸長率の設定

3-1、3-2の試験結果より張力導入に必要な伸長率は、縦糸方向0.30%、横糸方向3.00%と設定した。

### 4. 張力導入方法の設定について

張力導入方法の設定は、周辺の全てが剛境界であるため施工にあたっては特に等張力曲面の形成が難しく、リンクリングの発生を伴いやすい点を考慮して、伸長を段階別に分けて行う方法を採用した。この方法は、膜パネルに局部的な大きな張力が導入された場合でも、時間の経過と共に張力状態は安定し、リンクリング等の発生を少なくする事ができる。また、段階別に伸長した時の張力状態を把握するため、二軸リラクセーション実験を実施し、この方法の妥当性について確認した。尚、伸長回数は、施工性を考慮して5段階とした。

#### 4-1. 二軸リラクセーション実験

供試体の正方形部分のみが伸長されるように、二軸引張試験機に治具(写真-2)を設置し、表-1に示す全体の伸長率(縦糸方向0.30%、横糸方向3.00%)を、5段階に分け横糸、縦糸方向の順に伸長した。各伸長段階終了時よりこの状態でクランプを48時間固定する。この操作を繰り返し行い、各段階でのリラクセーションについて測定を行った。尚、引張速度は2 mm/minとした。

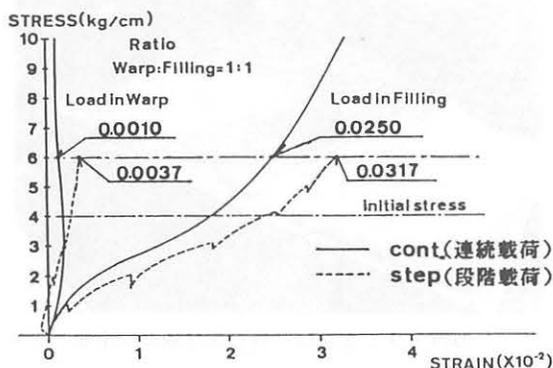


図-1：二軸引張試験結果

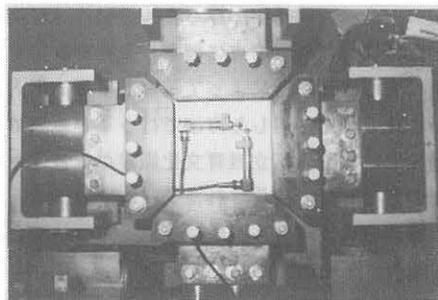


写真-2：二軸リラクセーション実験状況

表-1: 5段階の伸長率一覧表

i	縦糸方向		横糸方向	
	伸張率(%)	固定時間(h)	伸張率(%)	固定時間(h)
1st step	0.00	4 8	2.00	4 8
2nd step	0.08	4 8	2.50	4 8
3rd step	0.16	4 8	2.75	4 8
4th step	0.24	4 8	2.90	4 8
5th step	0.30	4 8	3.00	4 8

4-2. 張力導入方法の設定

上記のリラクゼーション実験結果を図-2~図-4に示す。これらの結果より、張力比1:1の二軸引張試験結果と比較して低い張力で伸長することができ、リラクゼーションの少ない安定した張力状態となることが分かった。更に、5段階終了時より500時間経過後の張力は約4 kg/cmを維持し、張力比は、縦糸方向:横糸方向=1:0.75となり、ほぼ等張力となることが分かった。

以上の結果より、この方法は、妥当性があると判断し、表-1に示す伸長率で張力導入方法を設定した。

5. 再張力導入に必要な調整代について

初期張力状態で維持されているサスペンション膜構造に風荷重及び積雪荷重が加わった後、初期張力は、膜材のクリープ等により次第に減少する傾向にある。これら外力に対して、ある程度張力は回復すると考えるが、将来的について考えると再張力導入が不可欠となる。再張力導入に必要な調整代の設定にあたっては、二軸複合引張実験より求めた。

5-1. 二軸複合引張実験

安定している初期張力状態を得るため3 kg/cmを横糸、縦糸方向の順で段階的に6 kg/cmまで載荷し、この状態でクランプを固定する。張力が4 kg/cmで維持されていることを確認した後、最大発生膜張力に相当する荷重を載荷する。最大張力に到達した状態を維持し1時間クリープさせる。この操作を5回繰り返す行い、その時の張力-歪の測定を行った。ここでの最大発生張力は縦糸方向24 kg/cm、横糸方向30 kg/cmで張力比1:1.25である。

5-2. 調整代の設定

図-5に示す二軸複合引張実験結果より再張力導入に必要な調整代を下記の算定式より求めた。

STRESS(kg/cm)

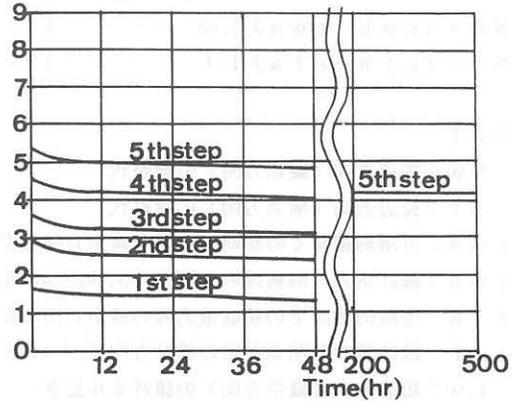


図-2: 二軸リラクゼーション実験結果(縦糸方向)

STRESS(kg/cm)

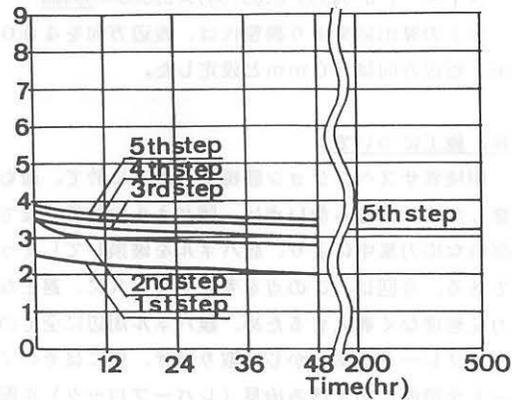


図-3: 二軸リラクゼーション実験結果(横糸方向)

STRESS(kg/cm)

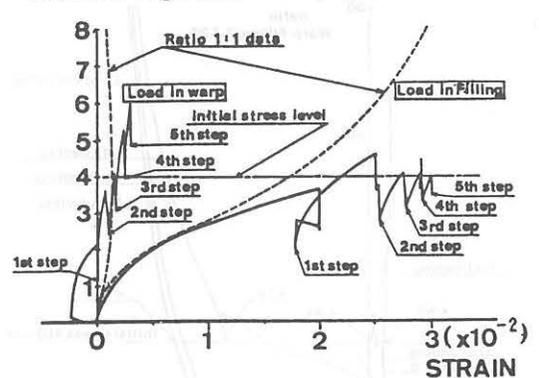


図-4: 5段階伸長時の張力-歪曲線

$$S_w = (\varepsilon_{wb} - \varepsilon_{wa}) L_w \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$S_f = (\varepsilon_{fb} - \varepsilon_{fa}) L_f \quad \text{-----} \quad (2)$$

ここで

$S_w$  : 短辺方向(縦糸方向)の調整代

$S_f$  : 長辺方向(横糸方向)の調整代

$\varepsilon_{wa}$  : 段階的載荷での初期張力時の縦糸方向の歪

$\varepsilon_{wb}$  : 設計張力5回載荷時の縦糸方向4kg/cmの歪

$\varepsilon_{fa}$  : 段階的載荷での初期張力時の横糸方向の歪

$\varepsilon_{fb}$  : 設計張力5回載荷時の横糸方向4kg/cmの歪

$L_w$  : 短辺方向(縦糸方向)の膜パネル長さ

$L_f$  : 長辺方向(横糸方向)の膜パネル長さ

(1)、(2)式より調整代を求めると、

$$S_w = \{-0.00327 - (-0.00067)\} \times 11000 = -29\text{mm}$$

$$S_f = (0.04933 - 0.03700) \times 32000 = 394\text{mm}$$

以上の算出結果より調整代は、長辺方向を400mm、短辺方向は50mmと設定した。

## 6. 施工について

剛境界サスペンション膜構造の施工に於て、最も留意しなければならない点は、膜パネルの伸長過程で局部的な応力集中により、膜パネルを破損してしまう点である。今回は、この点を考慮すると共に、適正な張力を無理なく導入するため、膜パネル周辺に全ての膜押えプレートをあらかじめ取り付け、更にはそのプレート全箇所に引き込み治具(レバブロック)を配置し、それらを引き込むことにより張力を導入した。

伸長手順としては、長辺方向(横糸方向)を引き込み後、短辺方向(縦糸方向)の引き込みを行う事とし、

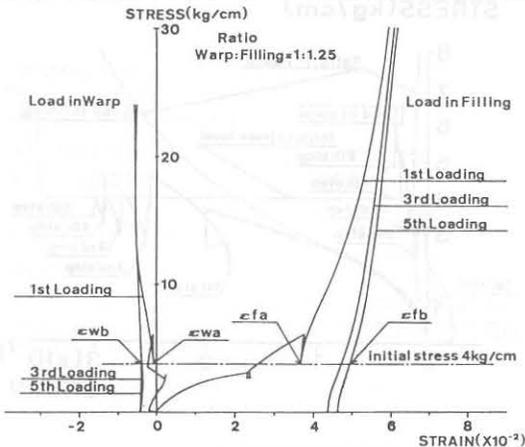


図-5: 二軸複合引張実験結果

中央部の鋼管アーチを境として柱脚部からコーナー部、更には、長辺方向の中央部からコーナー部に向かって、第1段階の設定長さまで伸長を行った。この状態で48時間放置した後、第2段階から第5段階までの設定されている伸長を繰り返して行った。

伸長にあたっての張力管理は、過張力が発生し易いコーナー部分を重点的に密着引バネを設置(写真-3)し、バネ剛性より膜張力に置換して行った。

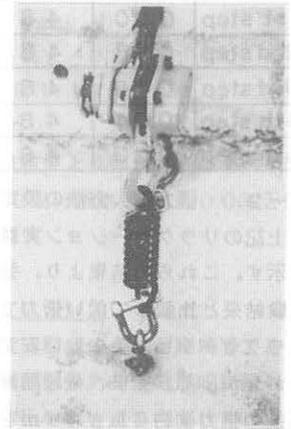


写真-3:

密着引バネ設置状況

## 7. まとめ

豊島区立教育文化施設の体育館と室内プールの屋根として、テフロンコーティングガラス繊維布を使用した剛境界サスペンション膜構造の膜パネル製作及び施工するにあたって、各種二軸引張試験結果より設定した。今回の様に、面内方向から張力導入を行うことに限られるものについては、これらの設定方法は適当であったと考える。

伸長率及び張力導入方法の設定については、リンクリング等の発生もなく膜パネルを施工することができた。また密着引バネによる膜張力の測定結果からも5段階終了時には、ほぼ3.5kg/cm~3.8kg/cmの範囲に納まっている点から判断すると、これらの設定方法が妥当であったと考える。

再張力導入に必要な調整代の設定については、未知数が多い為、かなり不利な方法で設定を行ったので経年後の再張力導入についても、十分対応出来ることを確信している。

最後に、今後も各種構造形式、形態、規模等に対してサスペンション膜構造の膜パネル製作及び、施工方法について、究明していく考えである。

<参考文献>

- 1) K.ITOH et al. "An experimental study on tension characteristics of suspension membranes" IASS, 1986(OSAKA)